

Высокотемпературные пьезоэлектрические кристаллы

А.В. Сотников^{1,2}

¹*Leibniz IFW Dresden, D-01069, Дрезден, Германия*

²*ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, 194021 Санкт-Петербург, Россия*

e-mail: a.sotnikov@ifw-dresden.de

Пьезоэлектрические кристаллы являются базовыми материалами для современной твердотельной акустики и акустоэлектроники. Особый интерес представляют монокристаллы, обладающие пьезоэлектрическим эффектом при высоких температурах (1000°C и выше). Число таких кристаллов относительно невелико, а изучение их физических свойств при высоких температурах представляет собой довольно сложную экспериментальную задачу. Наиболее важным фундаментальным ограничением для функционирования пьезоэлектрических материалов при высоких температурах является наличие фазовых переходов, приводящих к нестабильности температурного поведения материальных констант, в том числе, к исчезновению пьезоэлектрических свойств. Другие ограничения могут включать аномальные диэлектрические и акустические (затухание звука) потери, высокую электрическую проводимость и возможное химическое разложение. Отметим, что физические свойства кристаллов при высоких и сверхвысоких температурах представляют также фундаментальный интерес.

Кварц (SiO_2) – самый известный пьезоэлектрический кристалл. Преимуществами кварца являются наличие термостабильных срезов, низкие акустические потери на высоких частотах, доступность относительно недорогих кристаллов высокого качества. К существенным недостаткам можно отнести низкие значения пьезоэлектрических модулей (и, следовательно, электромеханических коэффициентов связи) и наличие α - β перехода при 573°C. Сегнетоэлектрические монокристаллы, такие как конгруэнтный LiNbO_3 и LiTaO_3 , обладают отличными электромеханическими свойствами, однако, ниобат лития химически нестабилен при температурах выше ≈ 400 -450°C, а танталат лития претерпевает сегнетоэлектрический фазовый переход при $T_C \approx 610$ -630°C.

В течение последних десятилетий были предприняты серьезные усилия по выращиванию новых высокотемпературных пьезоэлектрических монокристаллов. Среди них тригональные кристаллы семейства лангасита, прежде всего лангасит ($\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$) и катангасит ($\text{Ca}_3\text{TaGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$), семейство моноклинных оксоборатов $(\text{RCa}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3)$, где $\text{R} = \text{Gd}, \text{Y}, \text{La}$ и Nd), а также гексагональный нитрид алюминия AlN . Все кристаллы обладают относительно высокими коэффициентами электромеханической связи, малыми диэлектрическими и акустическими потерями и могут работать при очень высоких температурах ввиду отсутствия фазовых переходов вплоть до температуры плавления (1400-1500°C для лангаситов и оксоборатов и больше 2000°C для нитрида алюминия).

В настоящем обзоре представлены результаты измерения материальных параметров кристаллов семейств лангасита и оксоборатов, а также нитрида алюминия, включая модули упругости, пьезоэлектрические коэффициенты, диэлектрическую проницаемость и потери, в широкой области температур вплоть до 900 – 950°C. Показано, что пьезоэлектрическая активность кристаллов практически не изменяется во всем температурном диапазоне измерений. Для монокристалла катангасита проведены измерения коэффициента затухания звука в диапазоне частот от 1 до 6 ГГц, определены компоненты тензора вязкости. Продemonстрировано, что коэффициент затухания пропорционален квадрату частоты, что соответствует механизму Ахиезера.